

コヒーレント光変調の理解

内容

[概要](#)

[背景説明](#)

[ライトのプロパティ](#)

[問題](#)

[解決方法](#)

[位相偏移変調\(PSK\)](#)

[2位相偏移変調\(BPSK\)](#)

[4位相偏移変調](#)

[直交振幅変調\(QAM\)](#)

[8-QAM](#)

[16-QAM](#)

[32-QAMおよび64-QAM](#)

[偏波多重\(PM\)](#)

[光パフォーマンスモニタリング](#)

概要

このドキュメントでは、高密度波長分割多重(DWDM)ネットワークで使用されるコヒーレント光変調方式の基本原理について説明します。

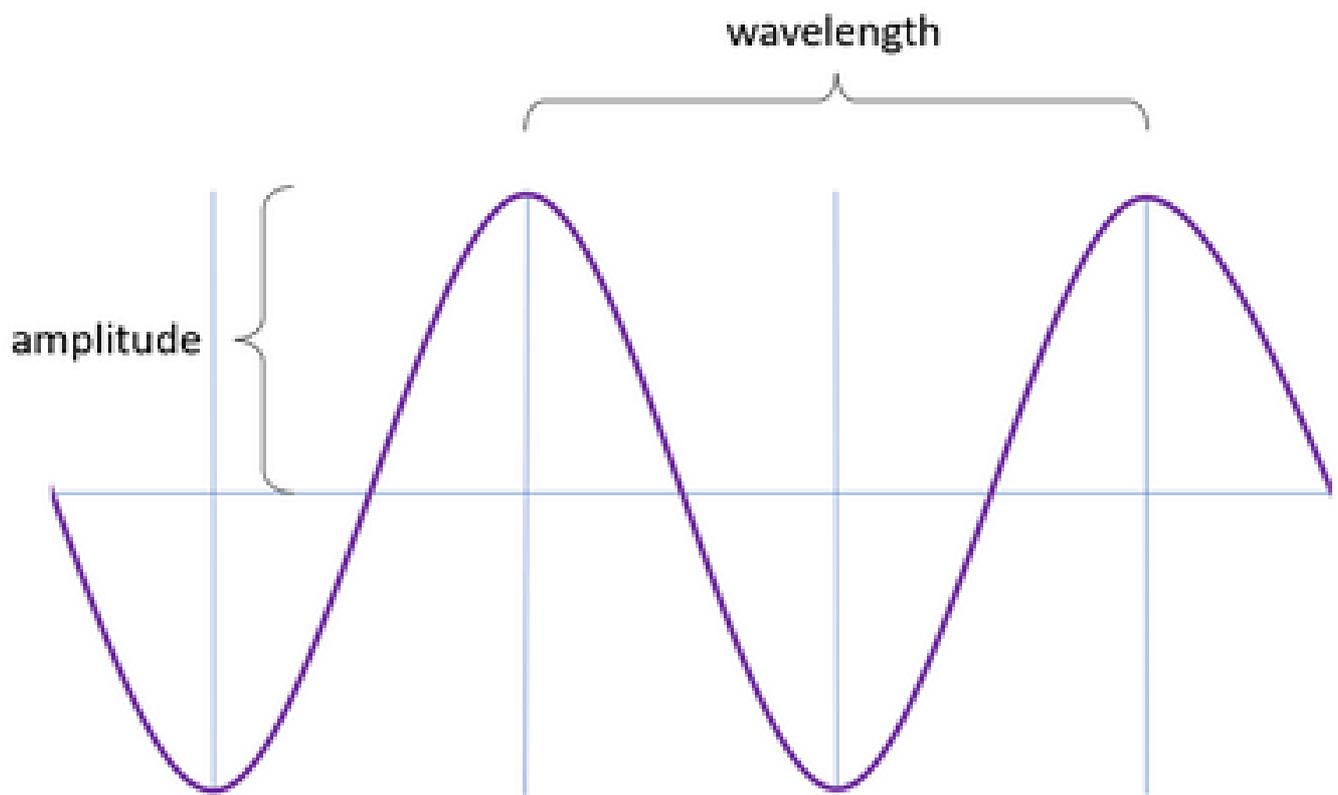
背景説明

変調方式は、波形の特性を連続的に変更します。この場合、バイナリ情報を波形に符号化するために軽いです。最近の光ネットワークでは、数百から数千キロメートルの距離でデータを転送するために、さまざまな変調方式が使用されています。

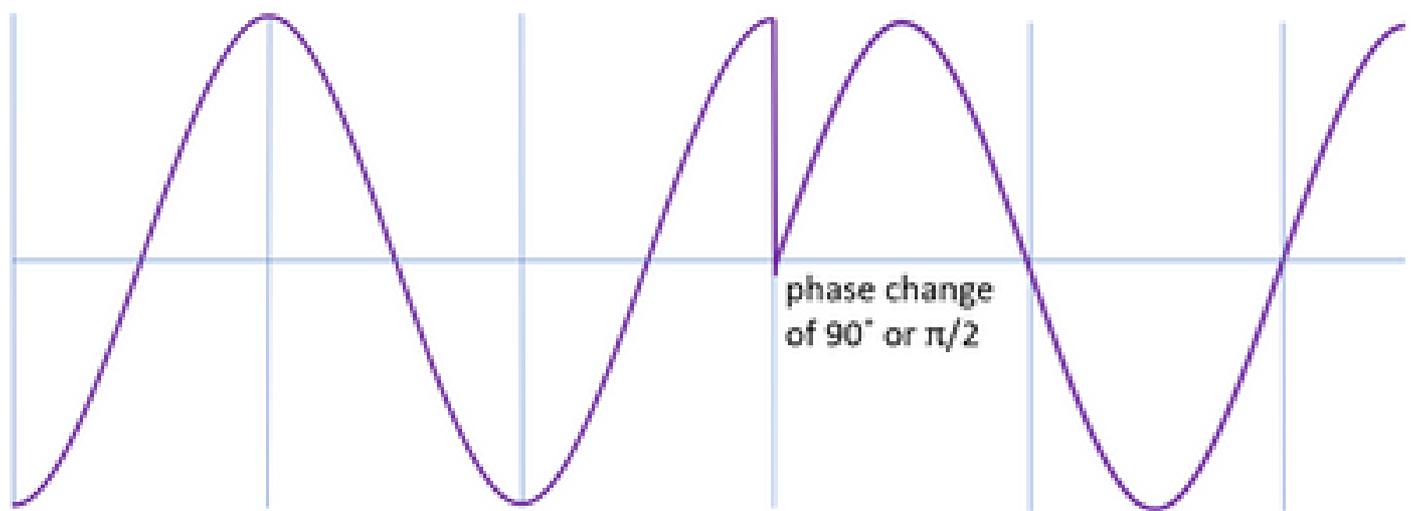
ライトのプロパティ

DWDMネットワークは、情報を効率的に符号化するために光のいくつかの特性を利用します。

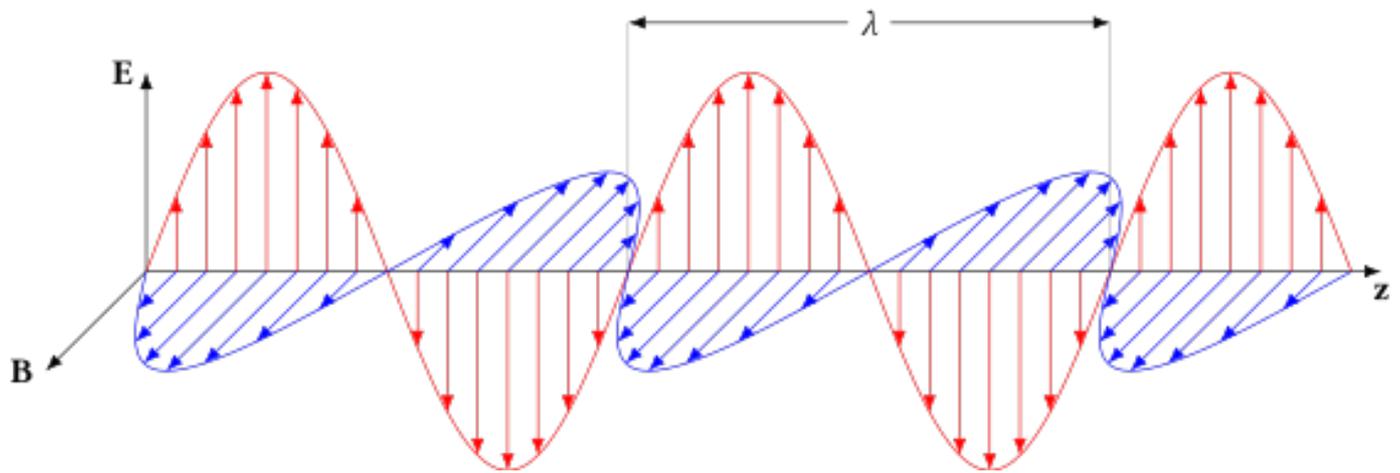
- 波長または周波数：DWDMネットワークの各チャネルは、Cバンドの特定の波長（約1527 nm ~ 1565 nm）を使用します。各シグナルは、ボーレートと変調方式に応じて異なる帯域幅を提供できます。
- 位相：一般的にラジアンで測定される波形の角度。位相を変更すると、波形の時間が変換されます。
- 振幅：信号の総電力をデシベルミリワット(dBm)で表した測定値。
- 偏波：電磁波には、電界と磁界によって定義される2つの主要な偏波状態があります。各偏波は、変調方式によって符号化された情報を含むことができます。一部のシスコの光製品では、変調での偏波の使用を識別するために、Coherent Polarization-Multiplexed(CP)またはPolarization Multiplexed(PM)という表記を使用しています。



波長と振幅



位相変調



光の超偏波

問題

データの電気的な伝送には、光伝送と比較して大幅な距離制限があります。Non-Return to Zero(NRZ)などのオン/オフシグナリングを使用する従来の光エンコーディング方式は、波長分散(CD)の影響を受け、分散補償装置(DCU)を使用せずに有効距離が制限されます。10 Gbpsを超えるレートで多くのキロメートルにわたってデータを効果的に転送するには、トランシーバはコヒーレント変調方式を使用する必要があります。

解決方法

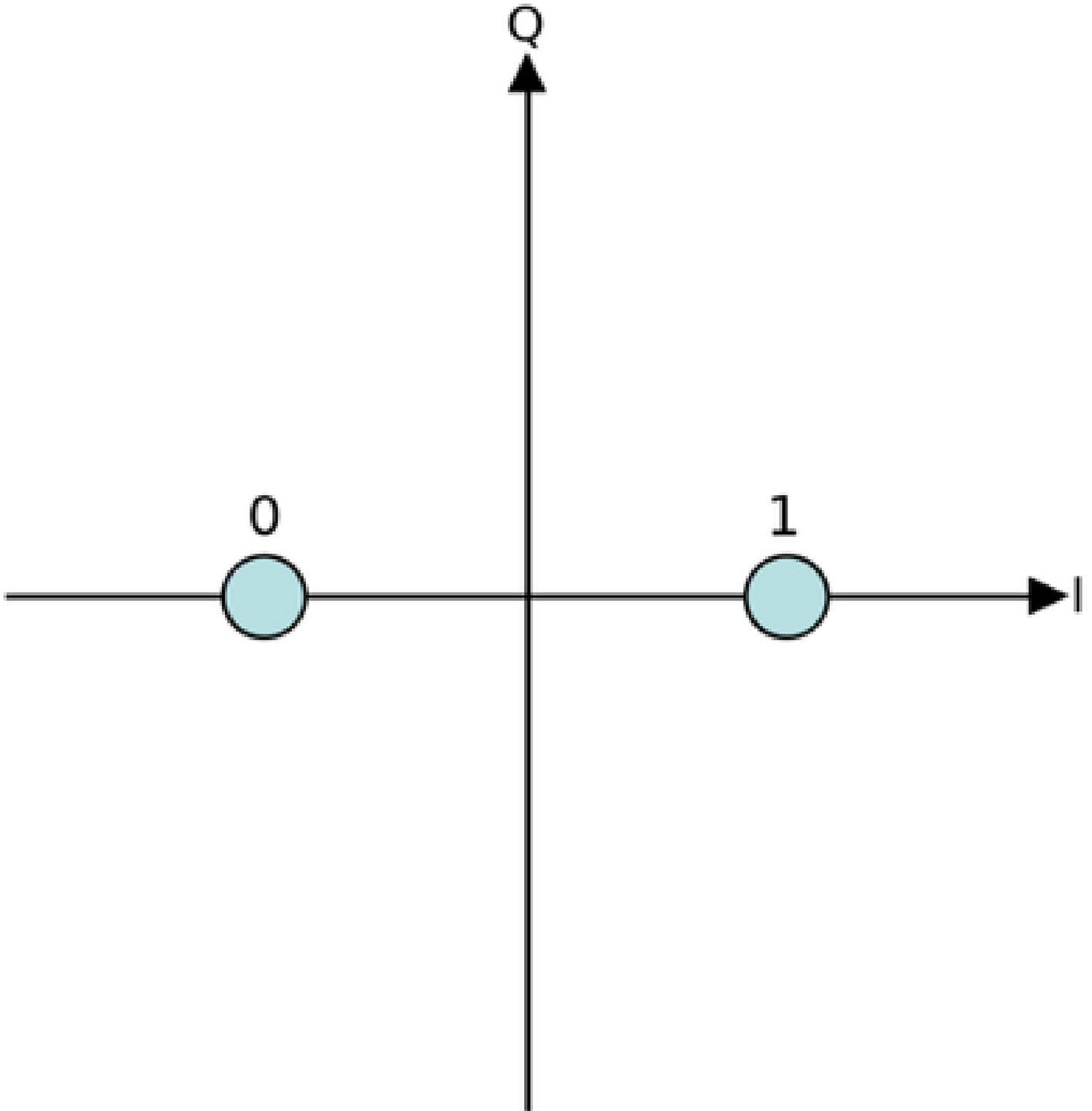
波の位相や振幅を変更すると、情報がシンボルとして符号化され、1つ以上のビットを含む1つの伝送単位が生成されます。シンボルの値は、レシーバで測定された位相と振幅によって異なります。上記のすべての方式では、データレートを増加させるために偏波多重化を使用できます。

位相偏移変調(PSK)

PSK変調は、ビットを符号化するために信号の位相をシフトします。ファイバを通過する信号の位相は変化する可能性があるため、レシーバは連続するシンボル間の位相の差を測定して、シンボルの値をより正確に決定します。これは、Differential Phase Shift Keying(DPSK)と呼ばれます。

2位相偏移変調(BPSK)

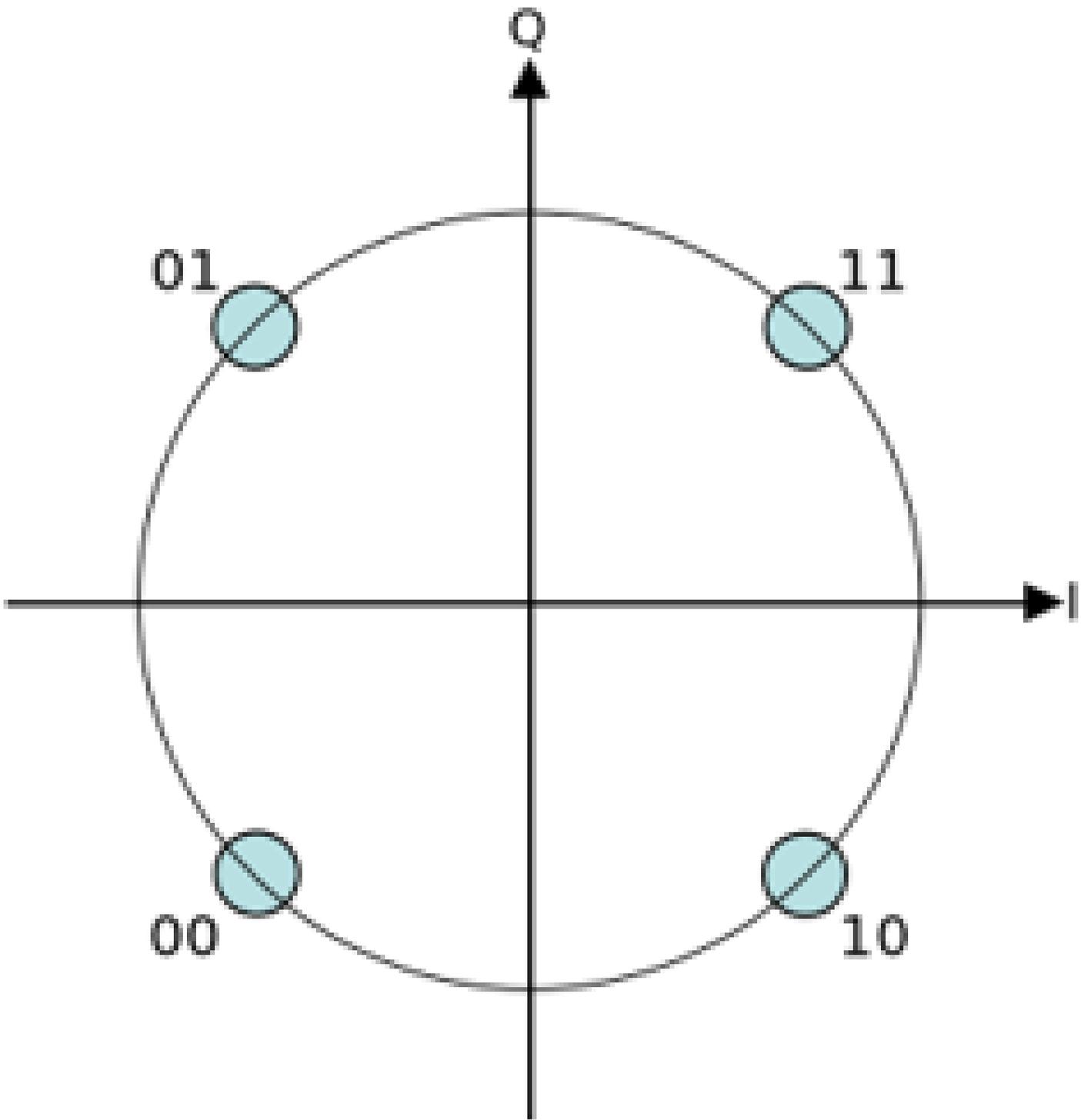
BPSKは、0または1を符号化するために、信号の位相を π ラジアンまたは180度ずつ変更します。フェーズ間の顕著な違いにより、Optical Signal to Noise Ratio (OSNR ; 光信号対雑音比)の要件が低くなり、この変調を使用する信号は数千キロメートル移動する可能性があります。シンボルあたりのビット数が少ないため、BPSK信号のデータレートは約100 Gbpsに制限されます。



BPSK変調のコンステレーション図

4位相偏移変調

QPSKは、連続するシンボル間の位相を $\pi/2$ ラジアンまたは90度で変更します。位相の変化が小さいほど、QPSKには4つの可能な状態があるため、情報密度はシンボルあたり2ビットに増加します。



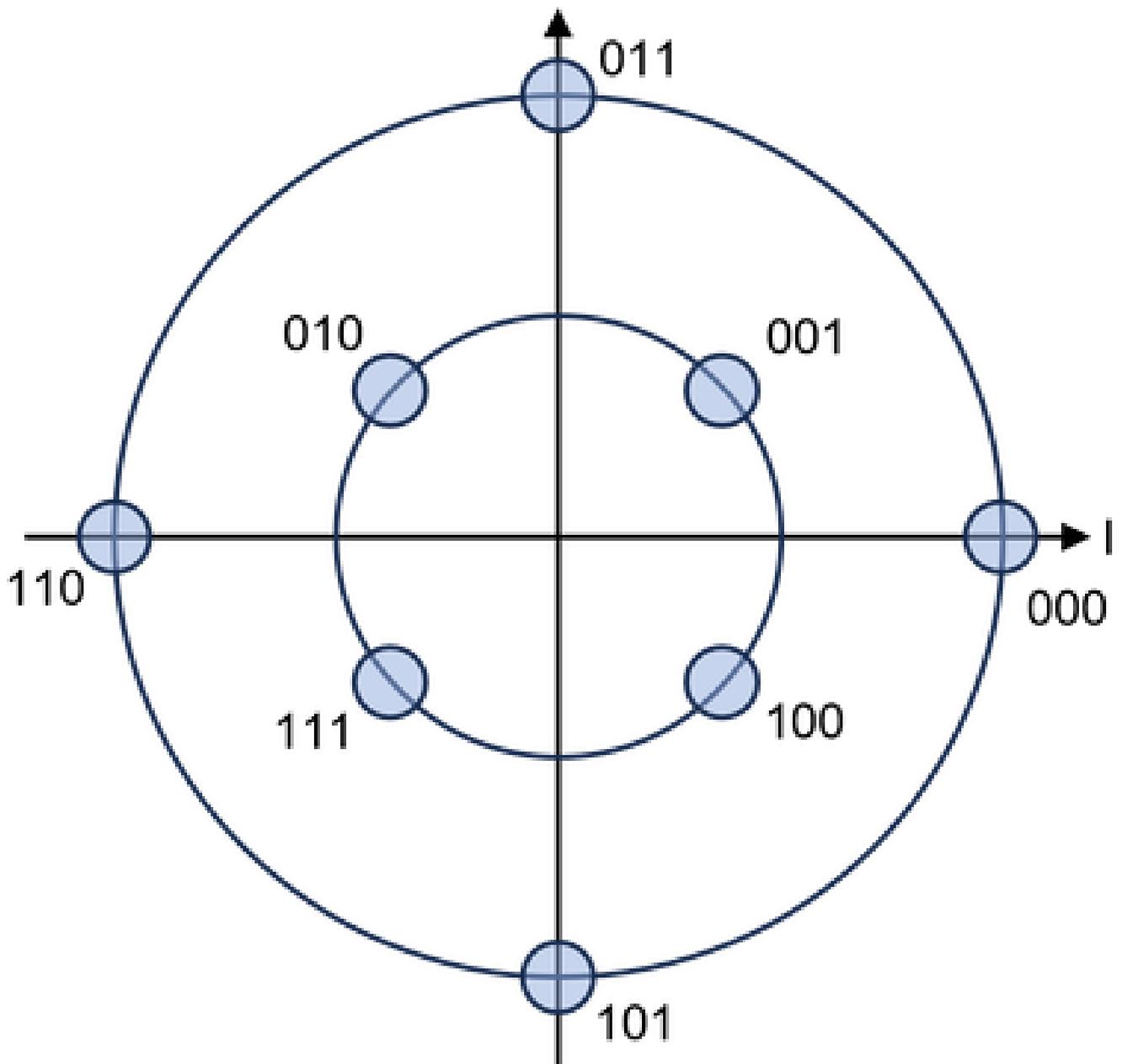
QSPK変調のコンステレーション図

直交振幅変調(QAM)

シンボルあたりのビット数をさらに増やすために、トランスミッタは位相に加えて信号の振幅も変更できます。コンステレーション内のポイントの数(シンボル)によって、QAMのタイプが定義されます。

8-QAM

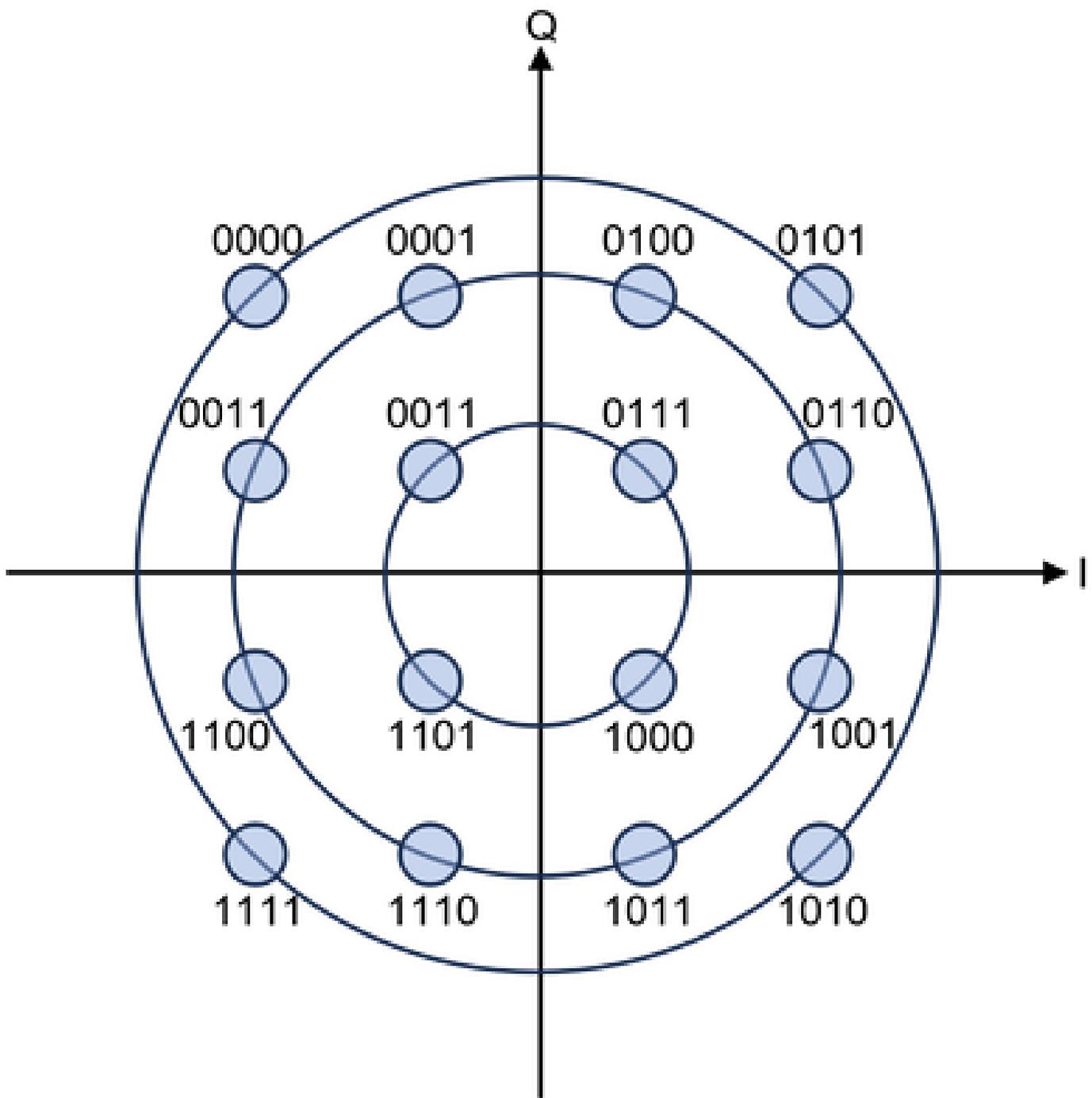
8つの状態によって、この変調方式のシンボルごとに3ビットが与えられます。



8-QAMのコンステレーション図

16-QAM

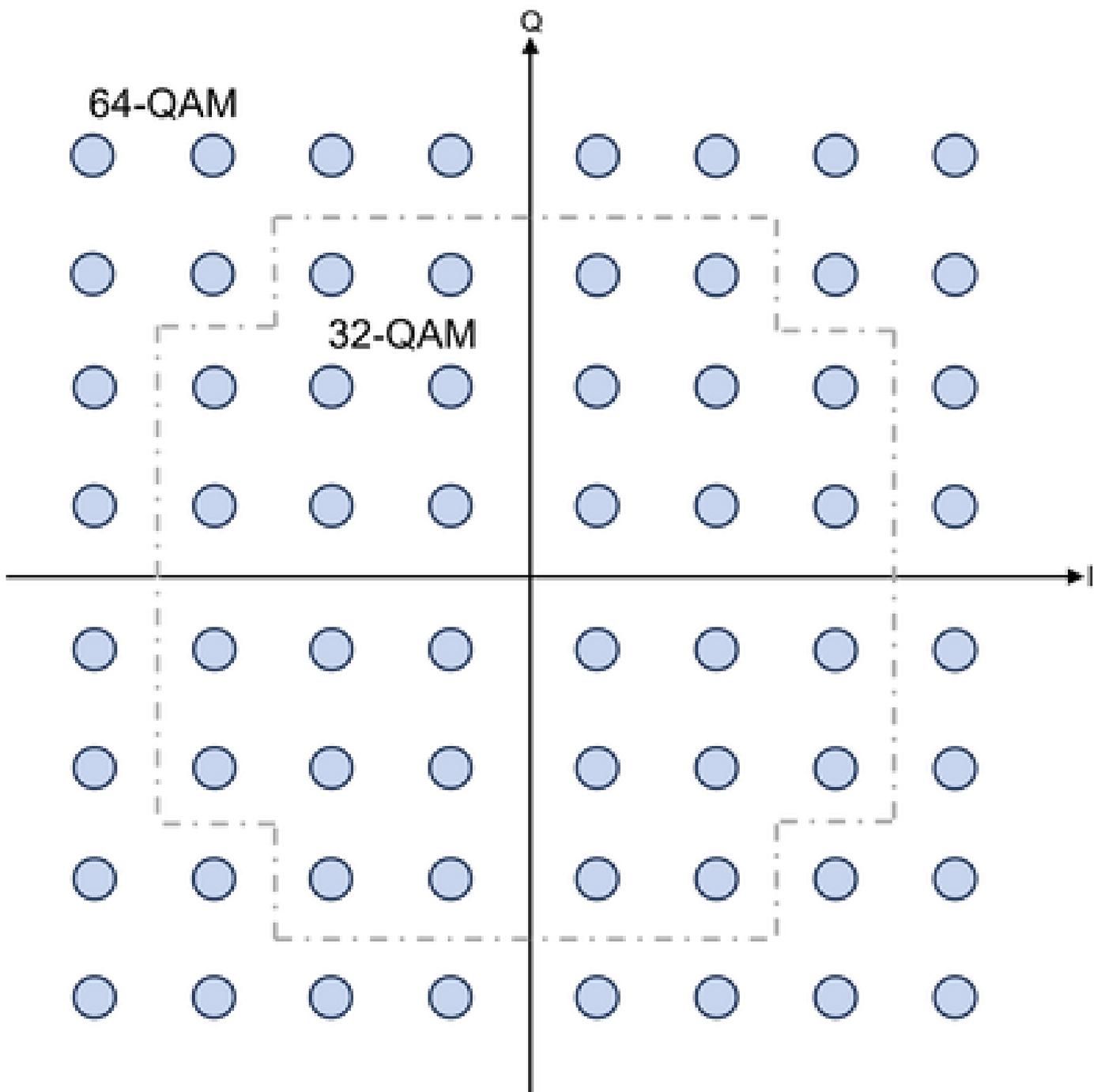
ボーレートは約30 Gbaudで、16-QAMのデータレートは200 Gbpsです。最大60 Gbaudまで増加すると、最大400 Gbpsのレートが得られます。位相と振幅の変化が小さいほど、OSNRの要件が増加し、その範囲は数百キロメートルに制限されます。



16-QAMのコンステレーション図

32-QAMおよび64-QAM

この2つの高次変調方式は、シンボルごとにそれぞれ5ビットと6ビットを使用し、最大600 Gbpsの伝送レートを実現します。64-QAMの高いOSNR要件により、有効範囲は200 km未満に制限されます。



32-QAMおよび64-QAMのコンステレーション図

偏波多重(PM)

リストされているすべての変調方式では、偏波多重化を使用して横断偏波を個別にエンコードします。これにより、データレートは2倍になりますが、Polarization Dependent Loss (PDL ; 偏波依存損失) やPolarization Mode Dispersion (PMD ; 偏波モード分散) などの潜在的な障害が発生します。この手法では、データレートは、ポーレートにシンボルあたりのビット数を掛けた値に2を掛けた値とほぼ等しくなります。

変調	説明	シンボル	標準データレート	PIDの例*

		単位のビット数	(Gbps)	
BPSK	2位相偏移変調	1	100	NCS1K4-1.2T-K9
QPSK	4位相偏移変調	2	100 200	NCS2K-100G-CK-C
8-QAM	8状態の直交振幅変調	3	100 200	NCS1K4-2-QDD-C-K9、 QDD-400G-ZRP-S
16-QAM	16状態の直交振幅変調	4	200、 300、400	ONS-CFP2-WDM、QDD- 400G-ZRP-S、NCS2K- 100G-CK-C
32-QAM	32状態の直交振幅変調	5	400 500	NCS1K4-1.2T-K9
64-QAM	64状態の直交振幅変調	6	500 600	NCS1K4-1.2T-K9

*多くのPIDが複数の変調タイプをサポートしています。これは完全なリストではありません。

光パフォーマンスモニタリング

シスコの光トランシーバは、コヒーレント変調に関する複数の異なるパフォーマンス統計情報を測定します。このセクションでは、それぞれについて簡単に説明します。

- 差分グループ遅延(DGD)：トランスミッタからレシーバまでの2つの偏波モードの伝搬時間の差をピコ秒単位で測定します。
- 波長分散(CD)：異なる波長が導波路(ファイバ)を通過する速度が速くなるか、遅くなります。単位スペクトル当たりの伝搬時間の変化は、ピコ秒ナノメートル(ps-nm)で測定され、信号がファイバを通過するにつれて直線的に増加します。レシーバで許容される波長分散の量は、変調方式によって大きく異なります。分散許容値が低いトランシーバでは、レシーバに到達する前にこの影響を取り除くために分散補償装置が必要です。ファイバの種類によって、CD係数が大幅に異なる場合があります。
- Optical Signal to Noise Ratio (OSNR；光信号対雑音比)：信号エネルギーとノイズエネルギーの差(dB単位)。レシーバで測定されます。信号の整合性を維持するために必要なOSNR値は、主に使用される変調方式によって異なります。
- Polarization Mode Dispersion (PMD；偏波モード分散)：この数値はDGDに関連するもの

で、ピコ秒で測定された偏波モード間の伝搬時間の累積合計差を表します。

- 2次偏波モード分散(SOPMD)：波長分散と同様に、偏波モード分散の影響は波長によって異なります。SOPMDは、この依存関係を単位ピコ秒の二乗(ps^2)で特徴付けます。
- Polarization Change Rate (PCR ; 偏波変化率)：信号がファイバを通過するときに偏波状態が変化する平均レートを、1秒あたりのラジアンで測定します。
- 偏波依存損失(PDL)：ファイバ全体の偏波状態の変化によるdB単位の効果的な減衰。

翻訳について

シスコは世界中のユーザにそれぞれの言語でサポート コンテンツを提供するために、機械と人による翻訳を組み合わせて、本ドキュメントを翻訳しています。ただし、最高度の機械翻訳であっても、専門家による翻訳のような正確性は確保されません。シスコは、これら翻訳の正確性について法的責任を負いません。原典である英語版（リンクからアクセス可能）もあわせて参照することを推奨します。